



Wofür bauen wir FAIR?

Die Sicht eines
Experimentalphysikers

Georg Schepers
GSI - SD/HAD1
SD Abteilungsseminar
20.11.2008

Überblick

- FAIR
 - eine besondere Brille
- Materie
 - ein Baukasten
- Experimente
 - gezielte Einblicke
- Strahldiagnose
 - mit offenen Augen

Kick-Off Event and Symposium on the Physics at FAIR

7 - 8 November 2007
GSI, Darmstadt, Germany



Advisory Committee

Horst Stöcker (Chair)
Ingo Augustin
Roland Garoby
Bill Gelletly
Hans Gutbrod
Zbigniew Majka
Thomas Stöhlker
Ulrich Wiedner

Local Organizing Committee

Ingo Augustin
Bruno Becker-de Mos
Hans Gutbrod
Alexander Kurz
Ingo Peter
Horst Stöcker

Registration and information:
www.fair-center.org/registration

Registration deadline:
15 October 2007

Contact:
fair-event@gsi.de
phone: +49 6159 71 2916
fax: +49 6159 71 3916



Photo from <http://antwerp.gsfc.nasa.gov>

HELMHOLTZ
GEMEINSCHAFT



FAIR: Facility of Antiproton and Ion Research

FAIR: Beschleunigerkomplex

Teilchen-

- transport
- kollision **Brille**
- be/entschleunigung
- produktion



FAIR eine besondere Brille



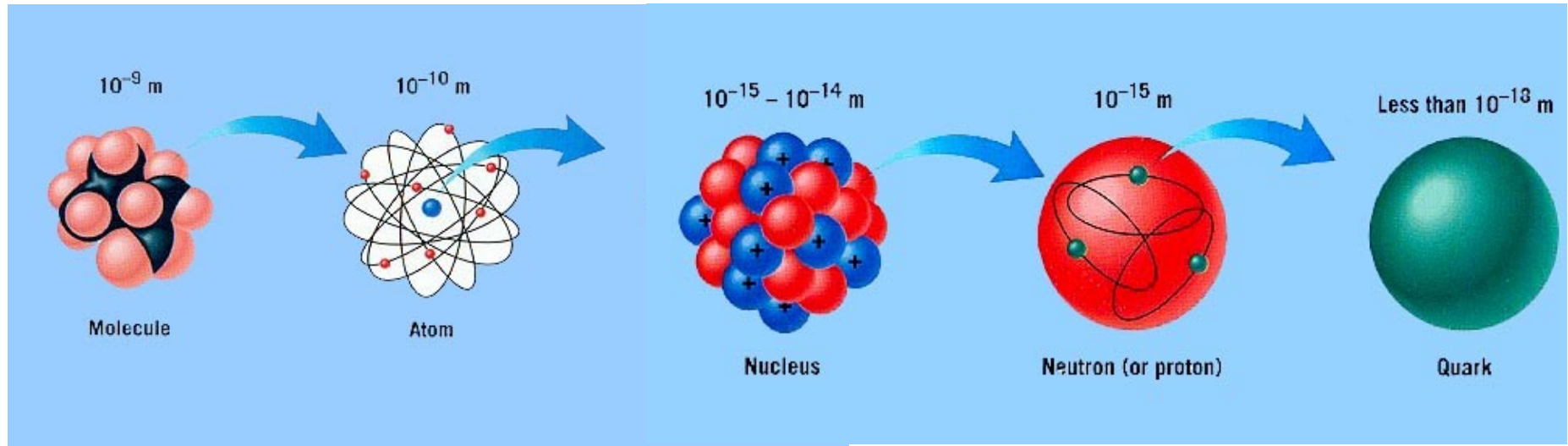
**Sichtbares Licht:
400nm – 700nm**

**Carl Spitzweg
„Der arme Poet“**

FAIR eine besondere Brille

Sichtbares Licht: 400nm – 700nm

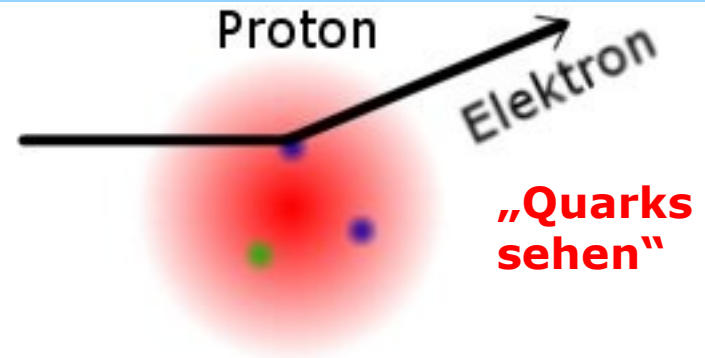
1nm = 10⁻⁹m



$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

de Brogli Wellenlänge

- h** Plancksches Wirkungsquantum
- p** Impuls
- m** Masse
- v** Teilchengeschwindigkeit
- c** Lichtgeschwindigkeit



Wellenlänge bei 100 GeV kinetischer Energie:

Elektron: $\lambda = 1.23 \cdot 10^{-17} \text{m}$

Proton: $\lambda = 1.23 \cdot 10^{-17} \text{m}$

FAIR: Facility of Antiproton and Ion Research

FAIR: Beschleunigerkomplex

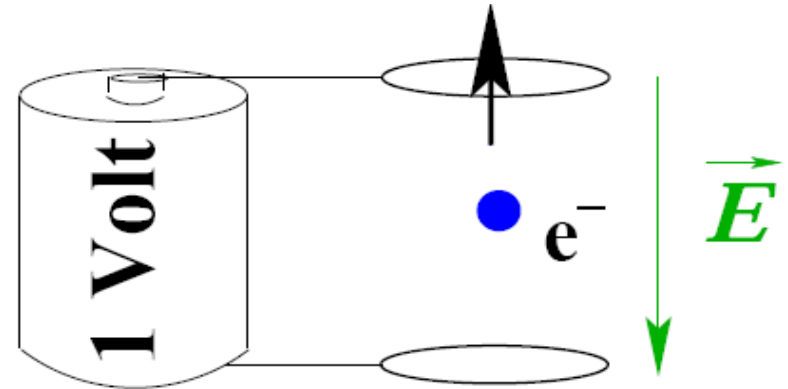
Teilchen-

- transport
- kollision
- **be/entschleunigung**
- produktion



Definition:

1 eV ist die **Energie**, die man braucht,
um ein Elektron mit der Ladung e ($1.602 \cdot 10^{-19}$ C)
In einem elektrischen Feld mit der Feldstärke
1 V/m um einen Meter zu bewegen.
(1 eV = $1.602 \cdot 10^{-19}$ joule)



In der **Teilchenphysik** wird **eV** auch als Einheit für die **Masse** der Teilchen benutzt, denn:

$$E = mc^2 \quad (\text{Einstein})$$

m ist die Teilchenmasse und **c** die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum.

$$E = mc^2; m = \gamma * m_0$$

m ist die Teilchenmasse und **c** die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum und **m₀** die Ruhemasse.

$$\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}; \quad \beta = v/c \quad \text{(Relativität)}$$

Ruhemasse von einem Proton ist 938.27 MeV/c² (MeV=1000000eV)

**FAIR: 90 GeV Protonen (GeV=1000000000eV)
99.99% der Lichtgeschwindigkeit**

FAIR: Facility of Antiproton and Ion Research

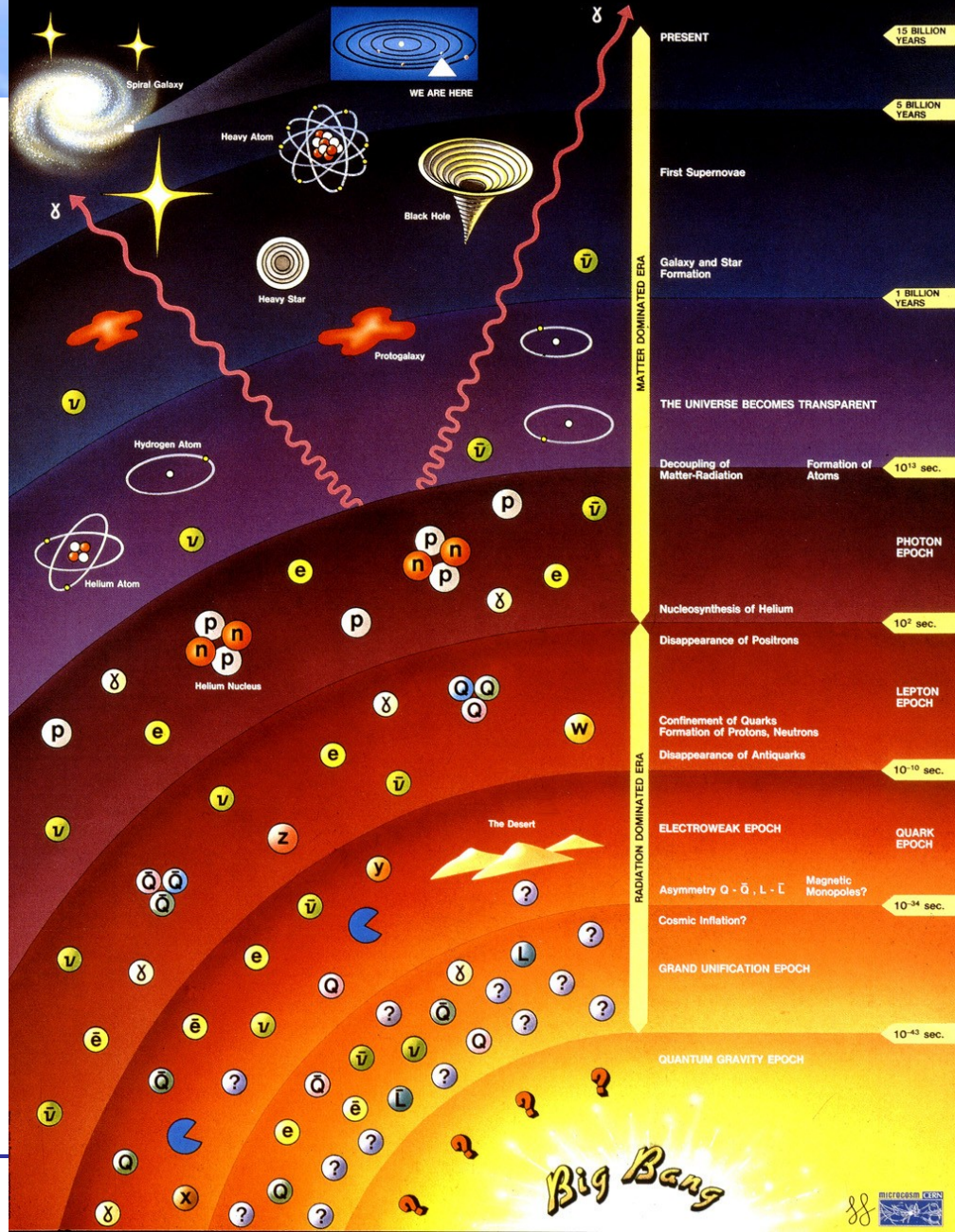
FAIR: Beschleunigerkomplex

Teilchen-

- transport
- kollision
- be/entschleunigung
- **produktion** **$E = m c^2$**

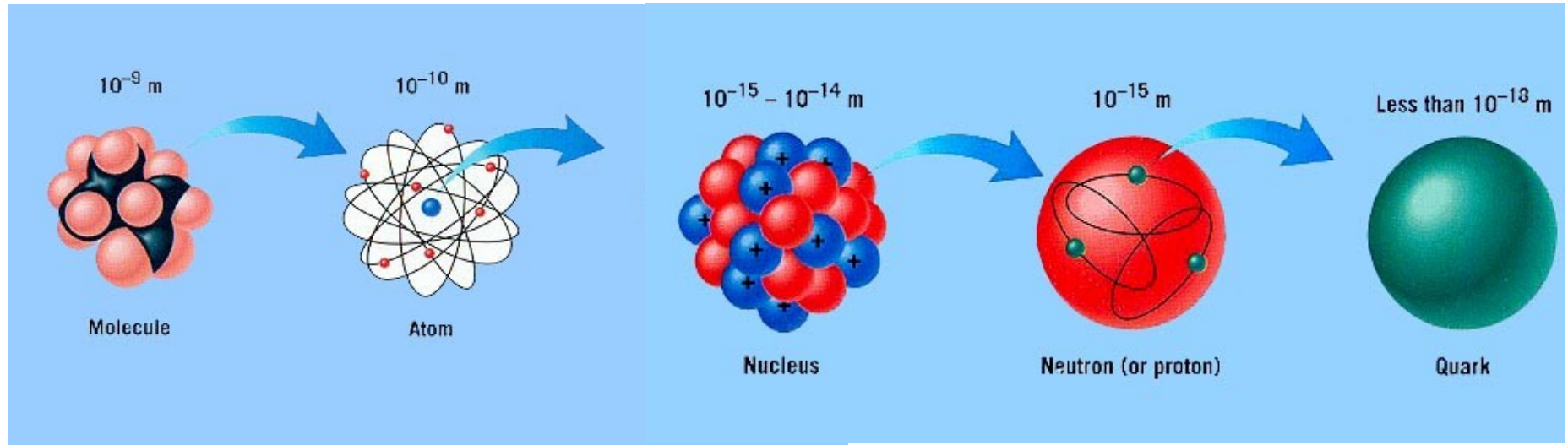


History of the Universe



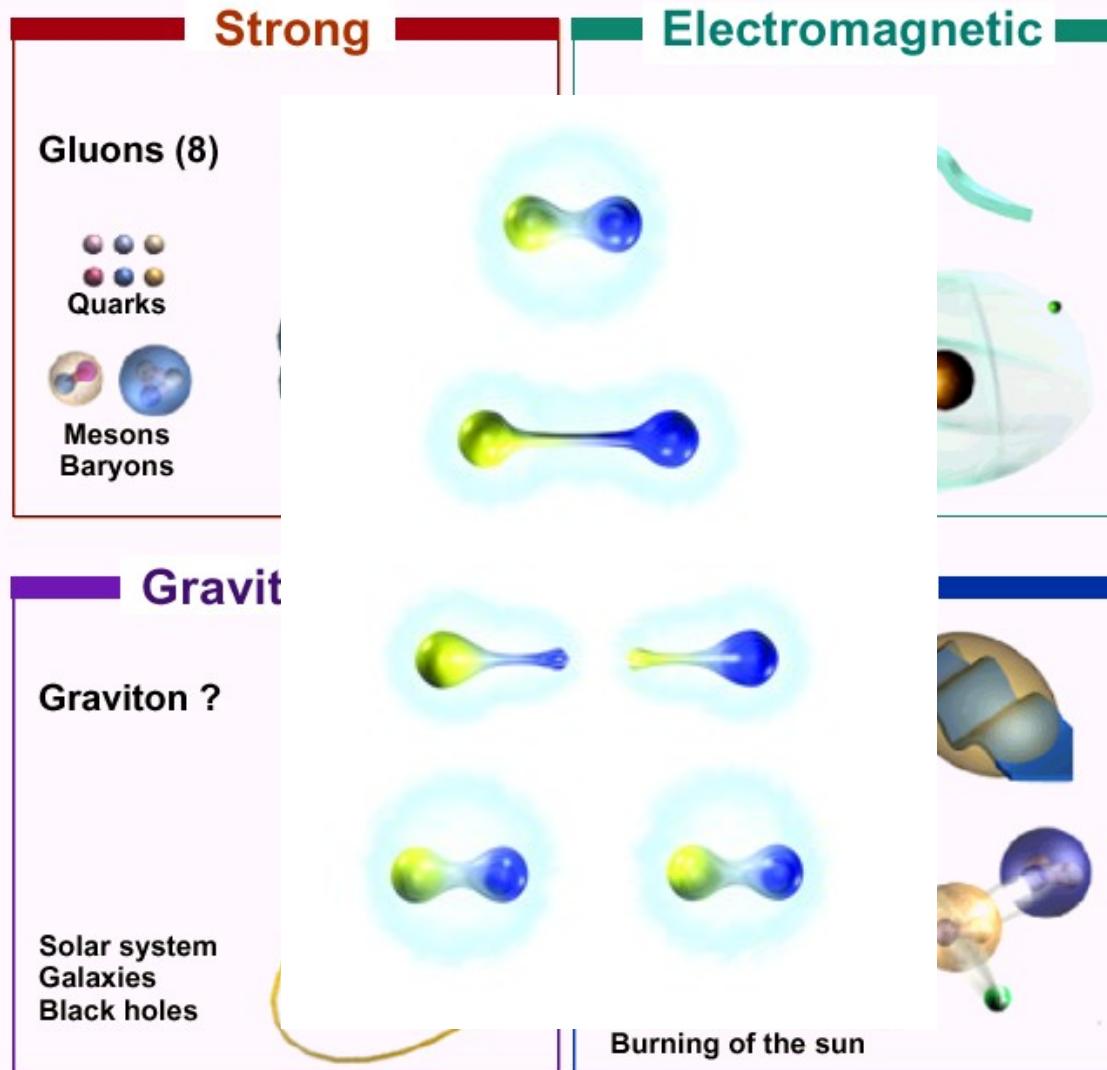
$$E = m c^2$$

Materie:



Materie: 4 Fundamentale Kräfte

Starke Kraft zwischen Quarks/Gluonen



Materie:

Three

1

Electric charge

+2/3

u

UP

-1/3

d

DOWN

0

ν_e

ELECTRON-NEUTRINO

-1




















e^-

ELECTRON

The PARTICLE ZOO

Sewing the fabric of spacetime

ELEMENTARY PARTICLES of THE STANDARD MODEL:

	FERMIONS			BOSONS
	I	II	III	
QUARKS	 u UP QUARK	 c CHARM QUARK	 t TOP QUARK	 γ PHOTON  g GLUON  Z Z BOSON  W W BOSON
	 d DOWN QUARK	 s STRANGE QUARK	 b BOTTOM QUARK	
	 ν_e ELECTRON-NEUTRINO	 ν_μ MUON-NEUTRINO	 ν_τ TAU-NEUTRINO	
LEPTONS	 e^- ELECTRON	 μ MUON	 τ TAU	
BEYOND THE STANDARD MODEL:				
HYPOTHETICALS	 TACHYON	 G GRAVITON	THEORETICALS	 ? DARK MATTER  H HIGGS BOSON

www.particlezoo.net



Mesons $q\bar{q}$

Mesons are bosonic hadrons.
There are about 140 types of mesons.

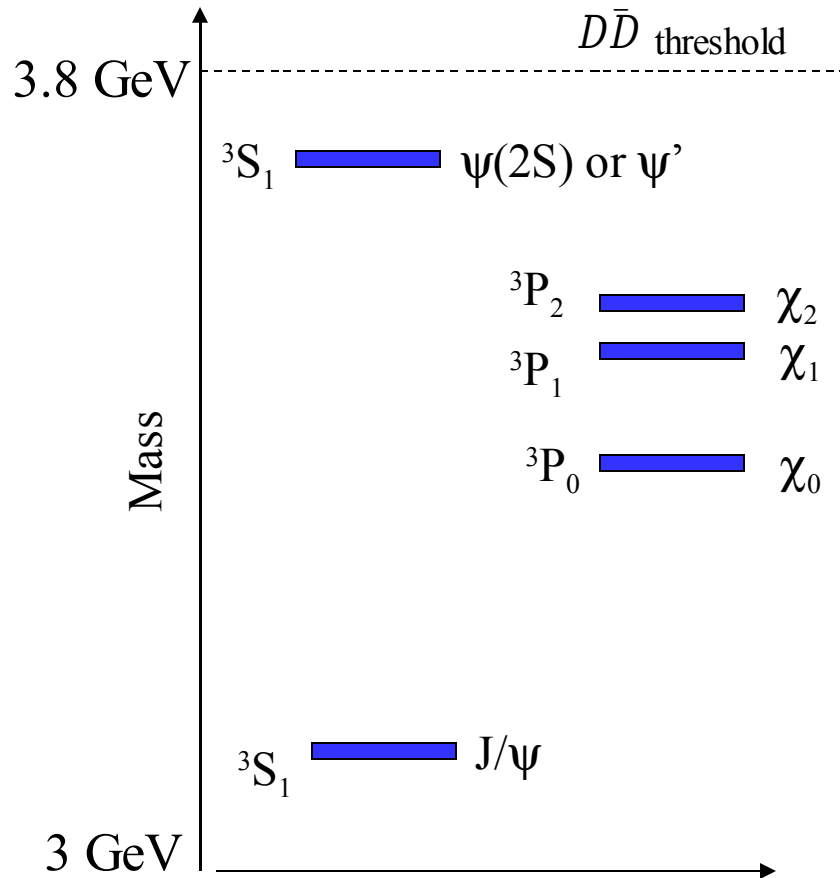
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^+	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
J/ψ	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$

Baryons are fermionic hadrons.
There are about 120 types of baryons.

Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
\bar{p}	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

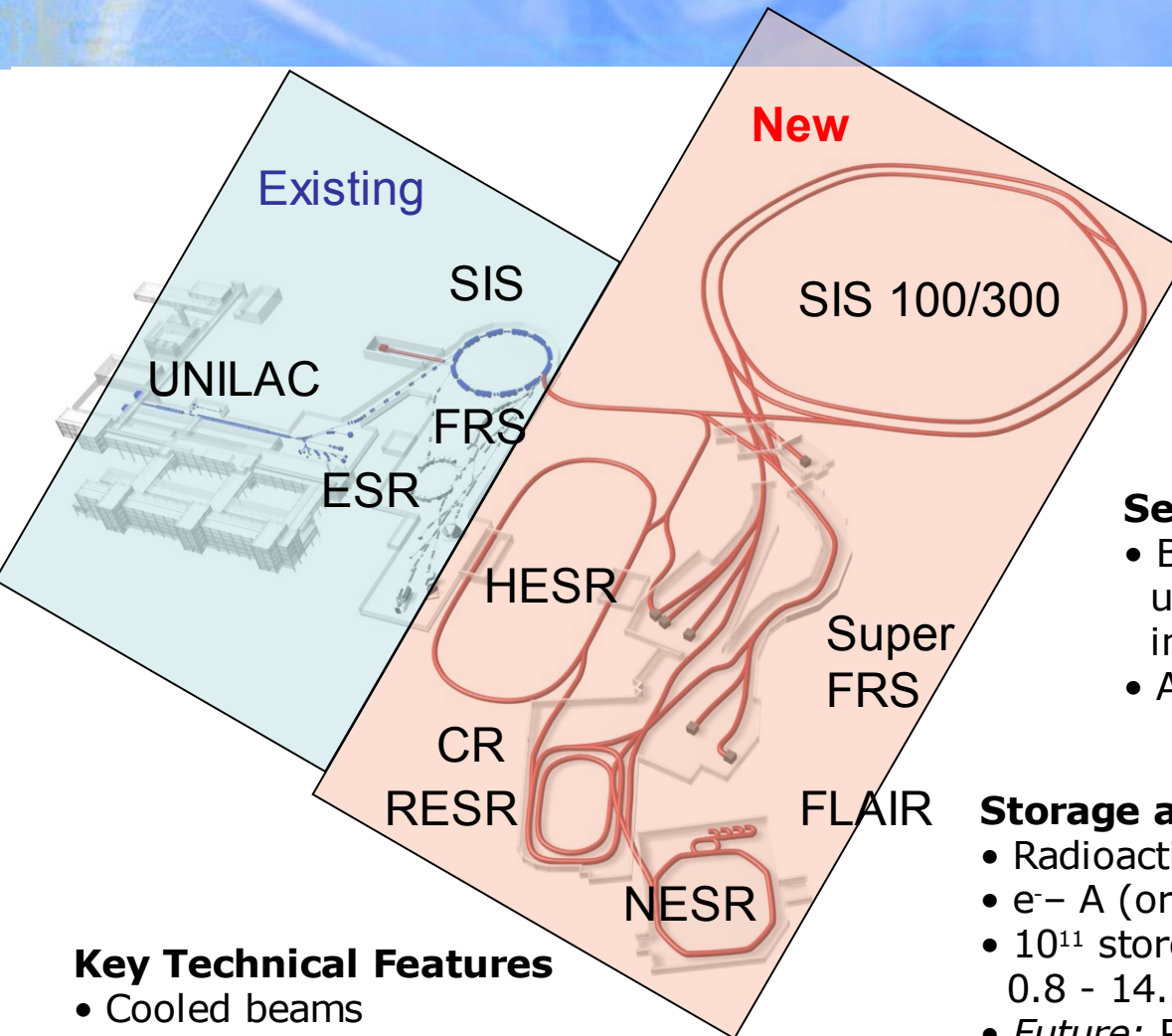
Charmonium



- gebundener Zustand aus charme quark and antiquark
- es ist "fast nichtrelativistisch":
 $\beta \sim 0.4$:
-> Wasserstoffähnliches Spektrum

Nur die wichtigsten Zustände sind gezeigt

FAIR



Key Technical Features

- Cooled beams
- Rapidly cycling superconducting magnets
- Parallel Operation

Primary Beams

- **$^{238}\text{U}^{28+}$** : $10^{12}/\text{s}$ @ 1.5-2 AGeV;
- **$^{238}\text{U}^{92+}$** : $10^{10}/\text{s}$ @ up to 35 AGeV
- **Protons** : $2 \times 10^{13}/\text{s}$ @ 30 GeV; up to 90 GeV
- 100-1000 times present intensity

Secondary Beams

- Broad range of radioactive beams up to 1.5 - 2 AGeV
intensity up to 10 000x over present
- Antiprotons 0 - 15 GeV

Storage and Cooler Rings

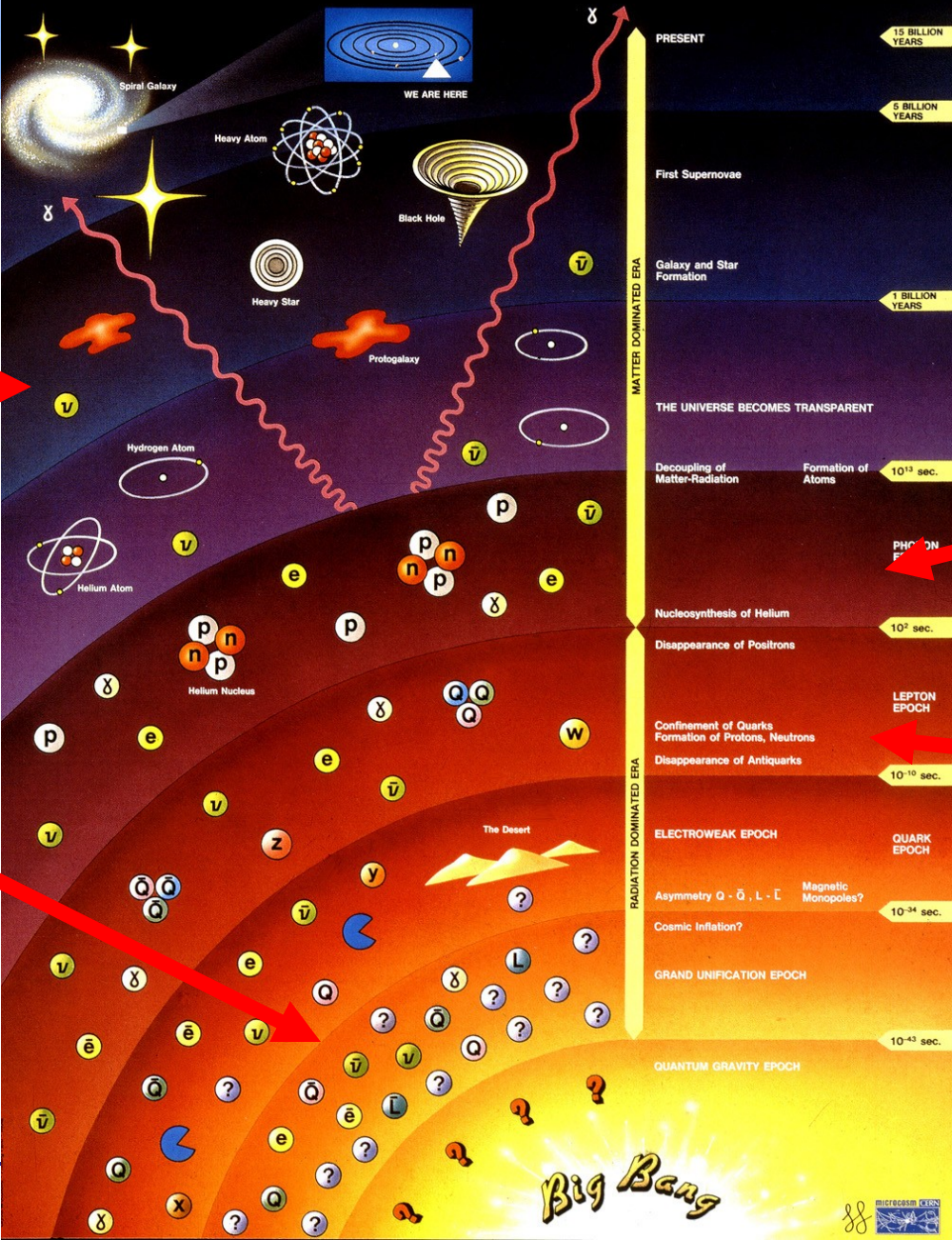
- Radioactive beams
- e^- - A (or Antiproton-A) collider
- 10^{11} stored and cooled antiprotons
0.8 - 14.5 GeV/c
- *Future*: Polarized antiprotons (?)

FAIR: Experimente und Einrichtungen:

- **NUSTAR:** Nuclear **S**tructure **A**strophysics and **R**eactions
Super – FRS , rare isotope beams
- **PHELIX:** Petawatt **H**igh-**E**nergy **L**aser for **H**heavy **I**on **E**xperiments
Nukleosynthese
- **PANDA:** anti**P**roton **A**nnihilations at **D**armstadt
hadron spectroscopy
- **CBM:** Compressed **B**arionic **M**atter
States and phases of strongly interacting matter
- **FLAIR:** Facility for **L**ow-energy **A**ntiproton and heavy-**I**on **R**esearch
Antihydrogen, CPT

Materie

History of the Universe



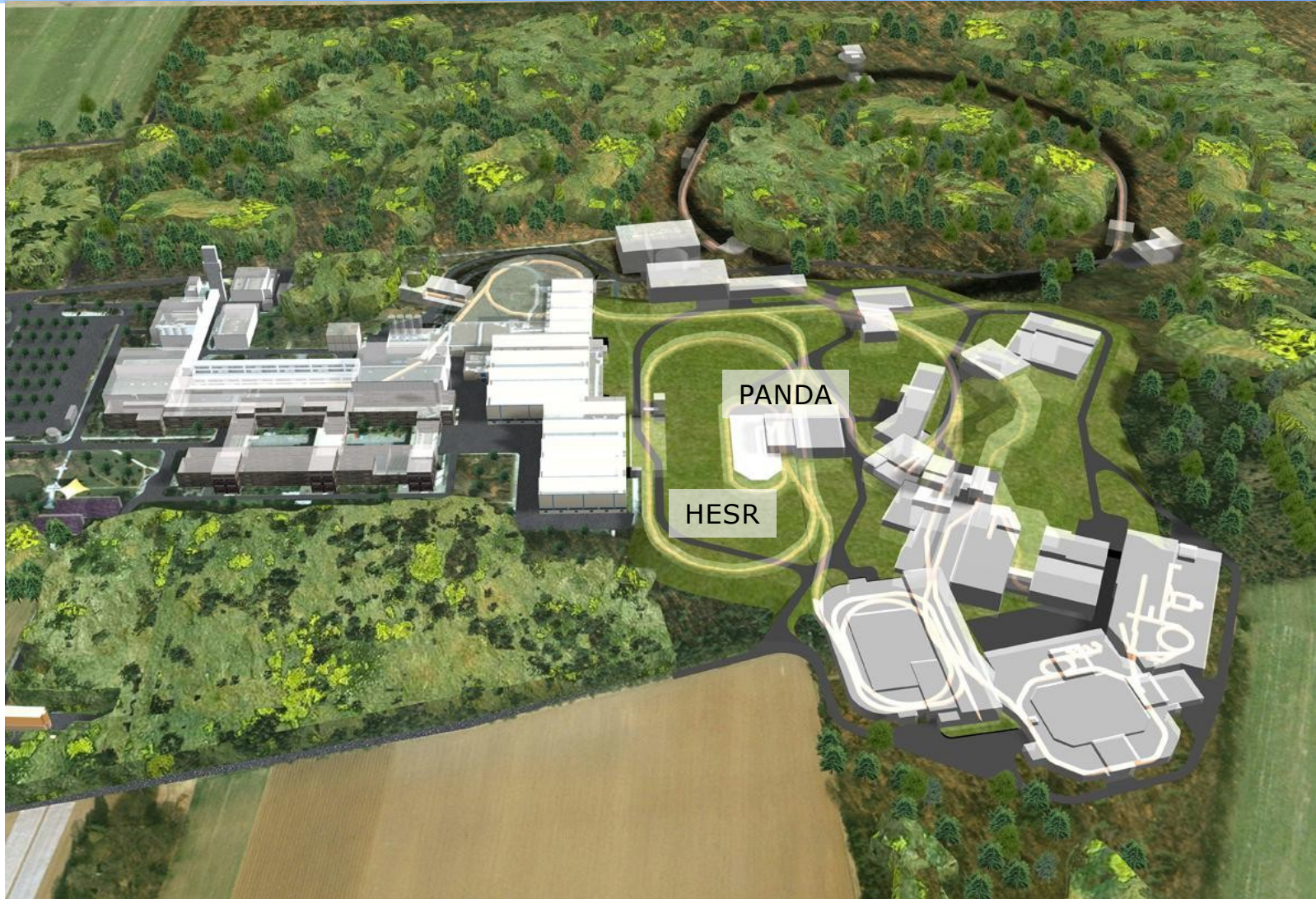
NUSTAR
„Element-
synthese“

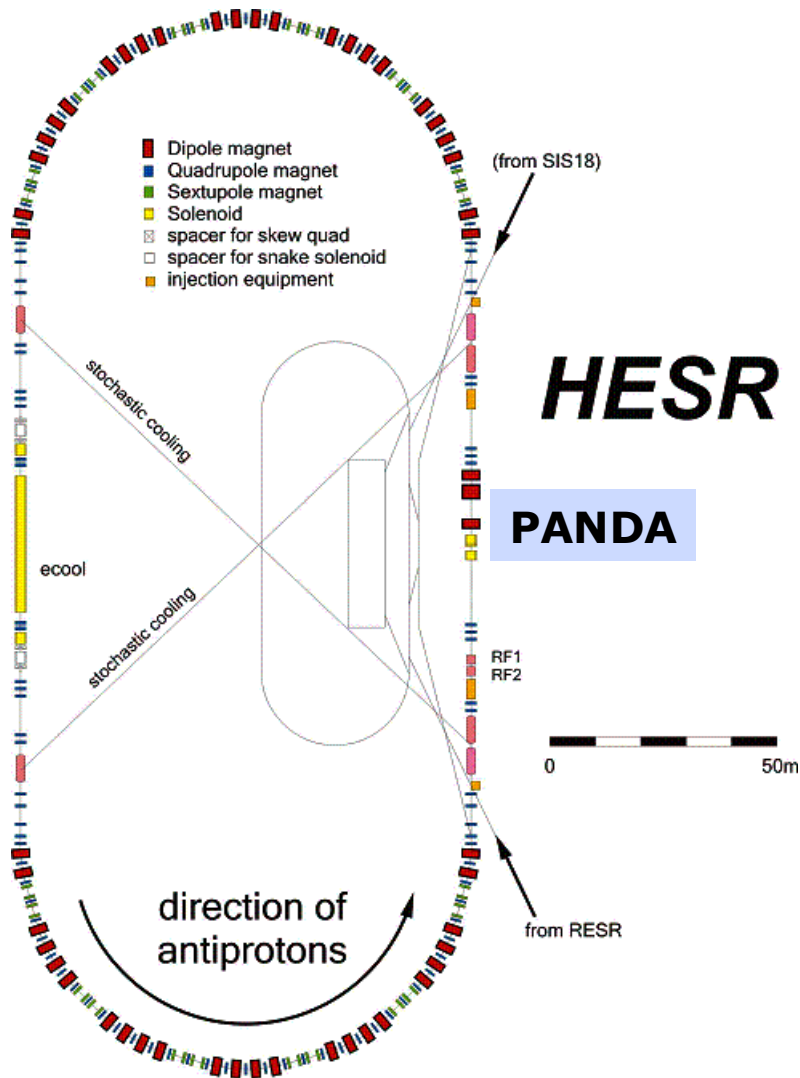
PHELIX
„Nucleo-
synthese“

PANDA
„CP“
„CPT“
FLAIR

CBM
„QGP“

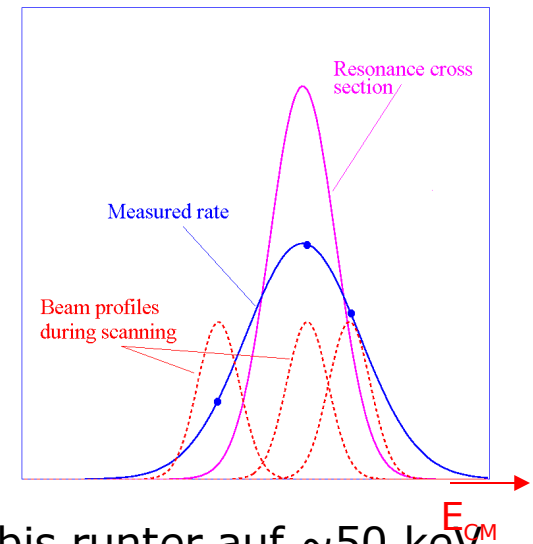
$$E = m c^2$$





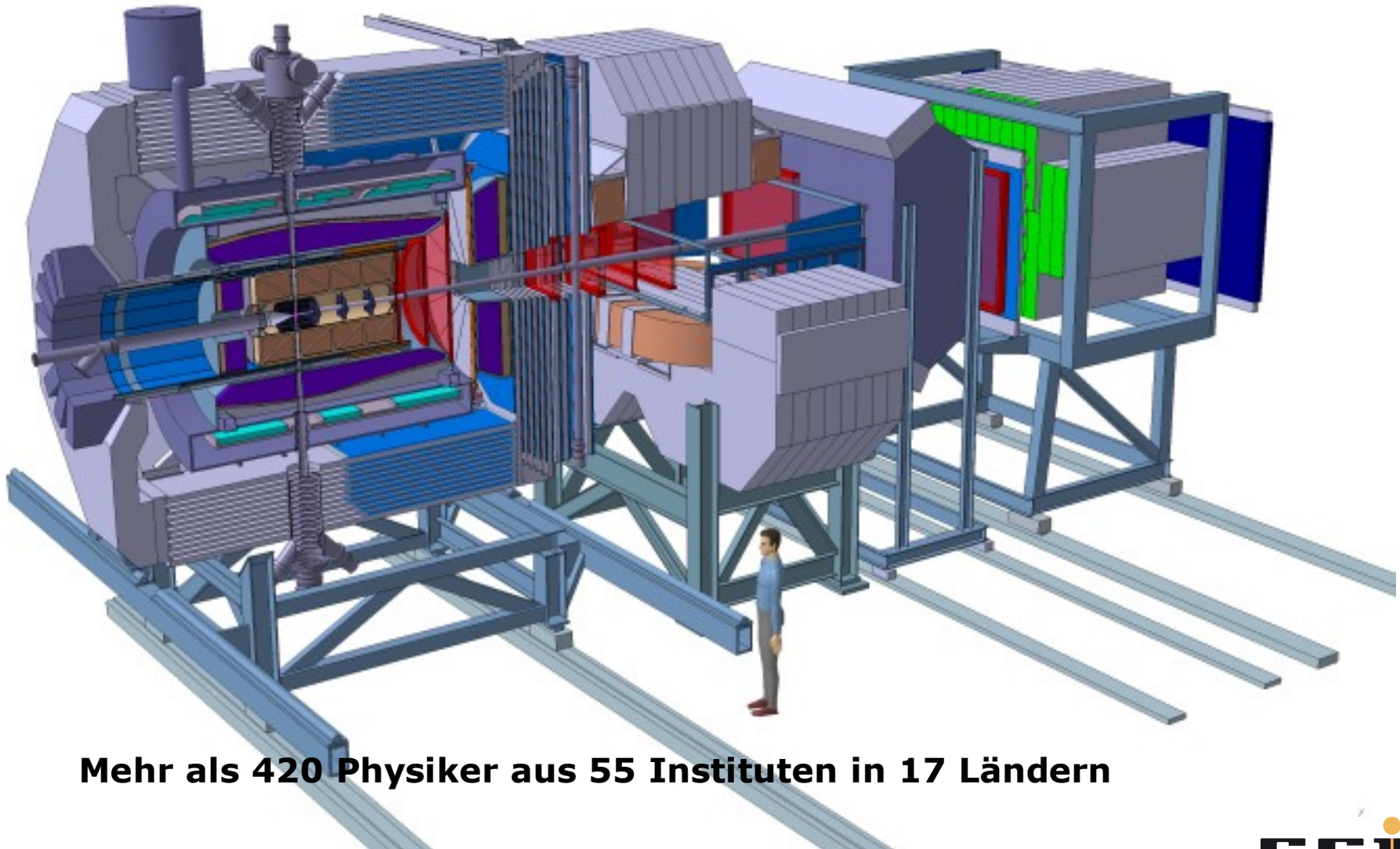
Parameter des HESR

- Injektion bei $p = 3.7 \text{ GeV}$
- Langsames Synchrotron (1.5-14.5 GeV/c)
- Speicherring für internen Targetbetrieb
- Luminosity bis $L \sim 2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- Strahlkühlung (stochastisch & electron)

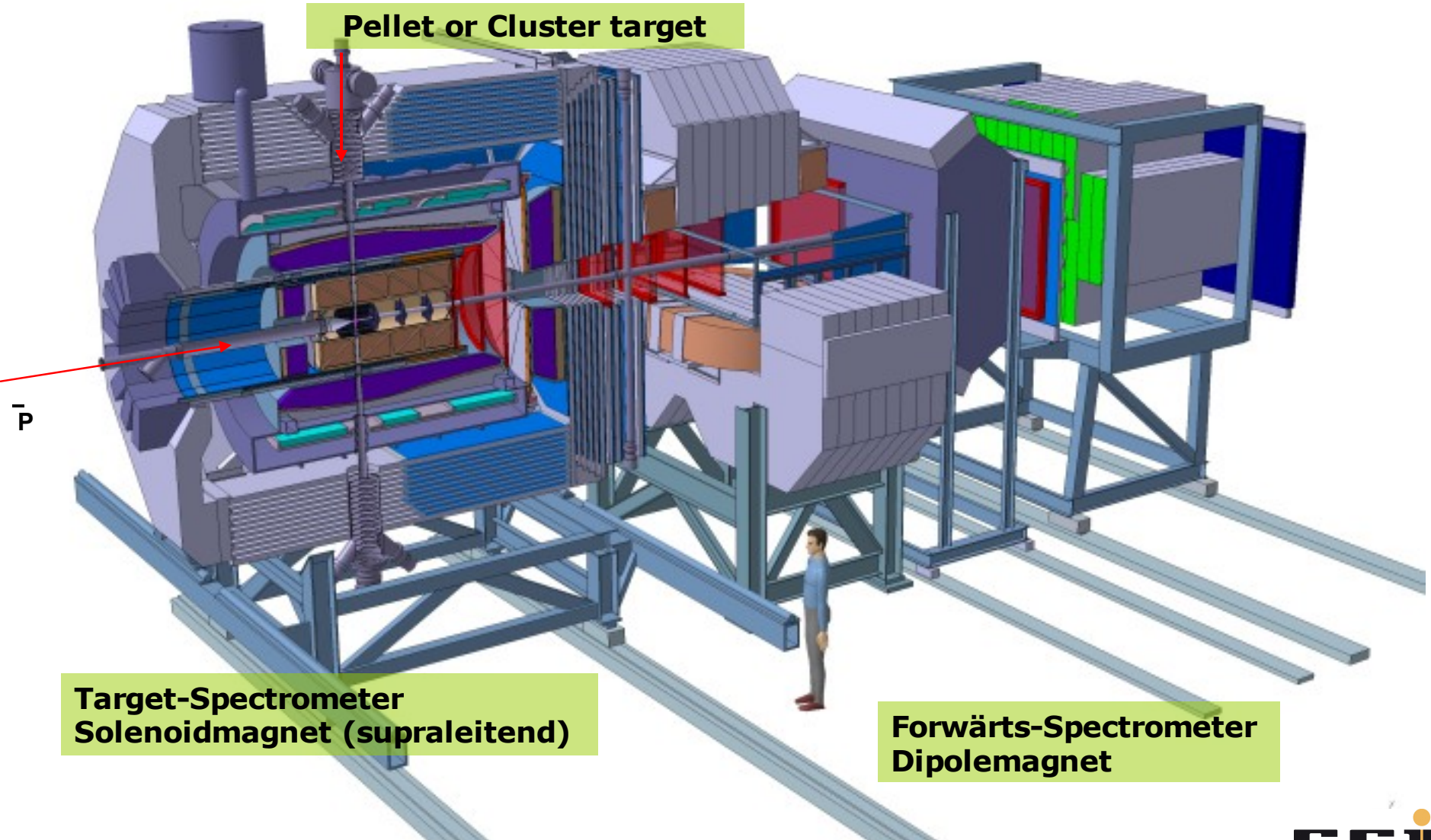


Resonance scan:

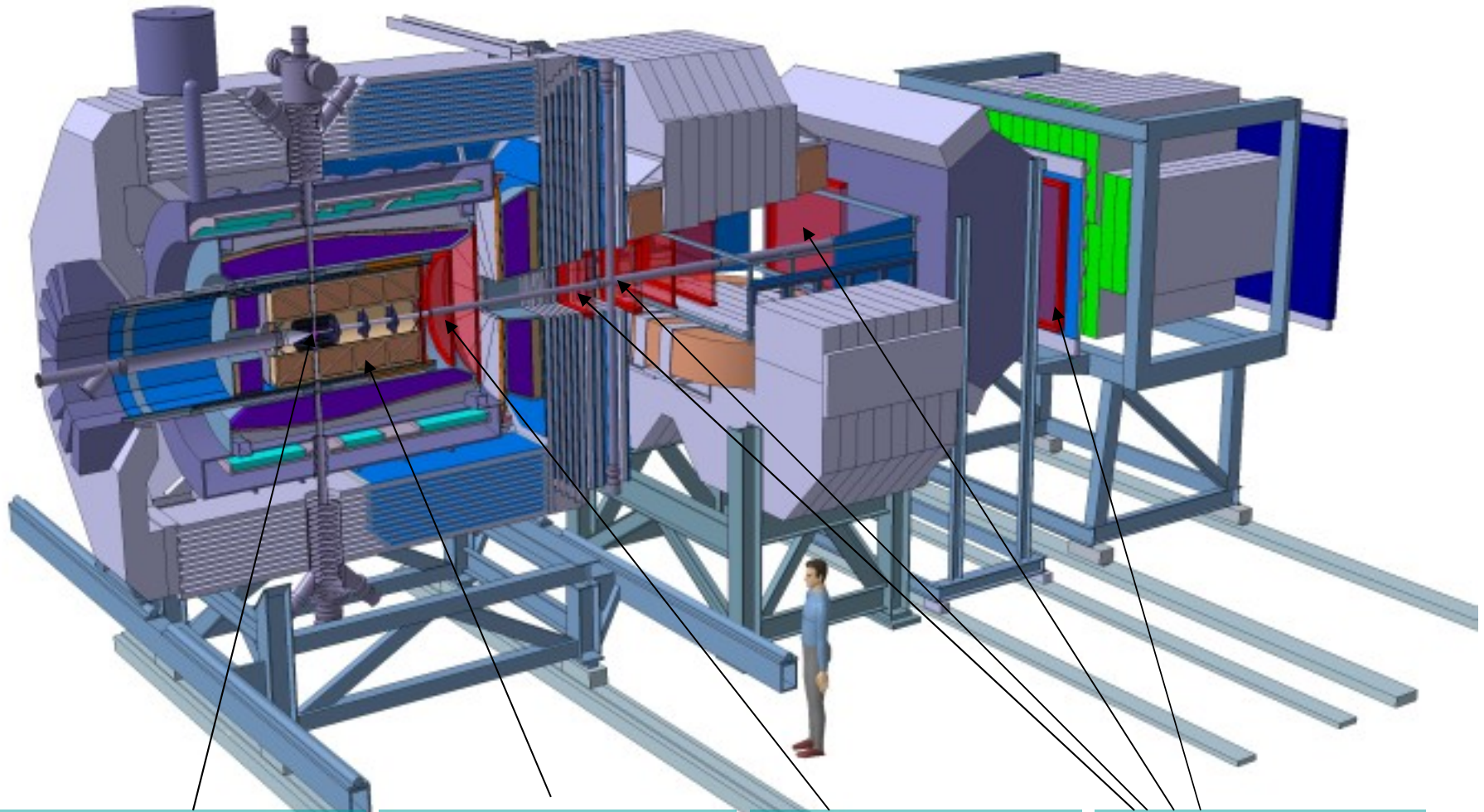
- Energieauflösung bis runter auf $\sim 50 \text{ keV}$
- Resonanzen abfahren
- präzise Masse and Breite



Mehr als 420 Physiker aus 55 Instituten in 17 Ländern



PANDA: Detector



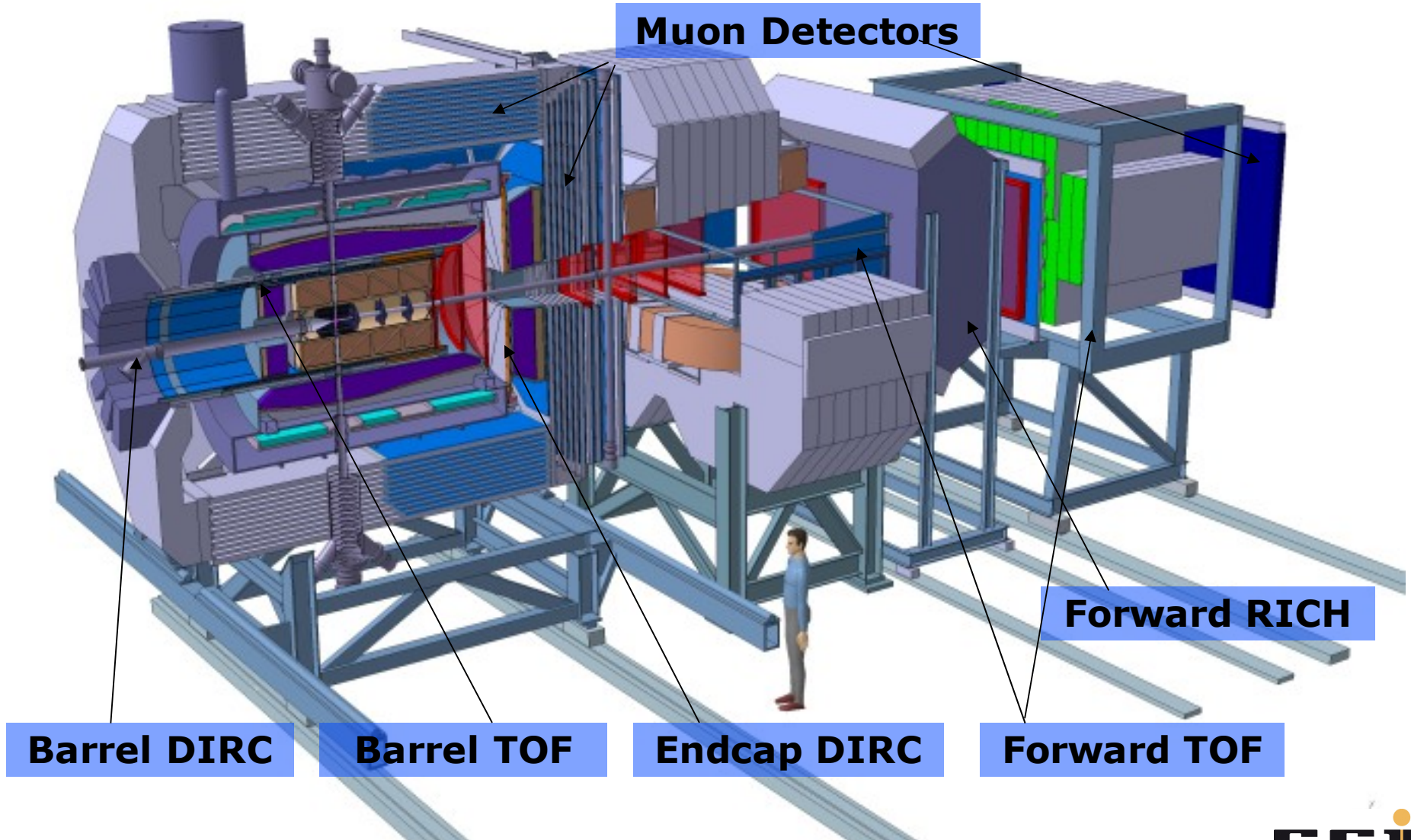
Silicon Microvertex

Central Tracker

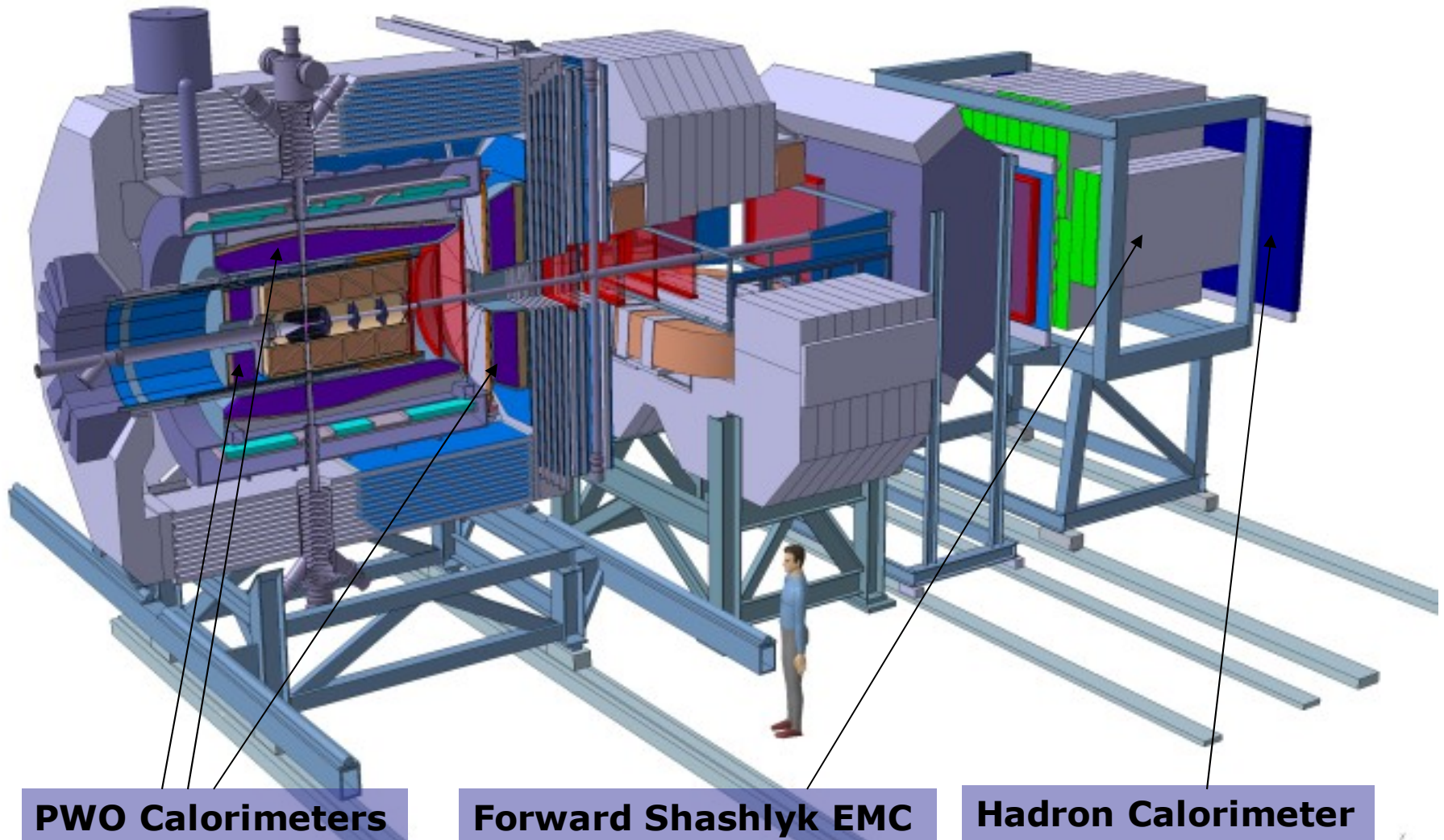
GEM Detectors

Drift Chambers

PANDA: Detector



PANDA: Detector



PWO Calorimeters

Forward Shashlyk EMC

Hadron Calorimeter

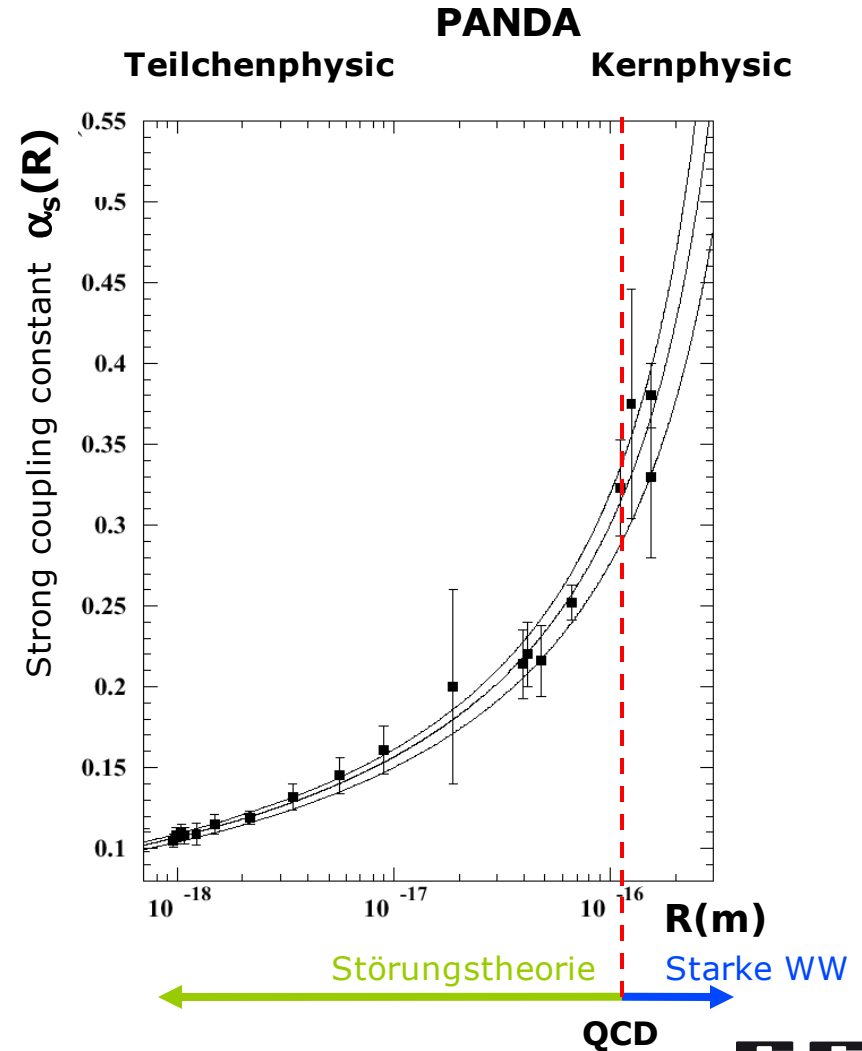
QCD:

- Quarks und Gluons können durch Störungstheorie beschrieben werden
- Hadronen und Nucleonen nicht

Gleiches Problem

QED:

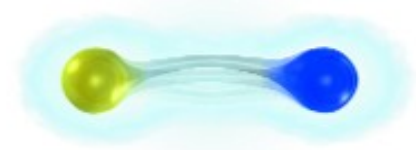
- individuelle Atome sind erklärbar
- Moleküle nicht



Charm spectroscopy

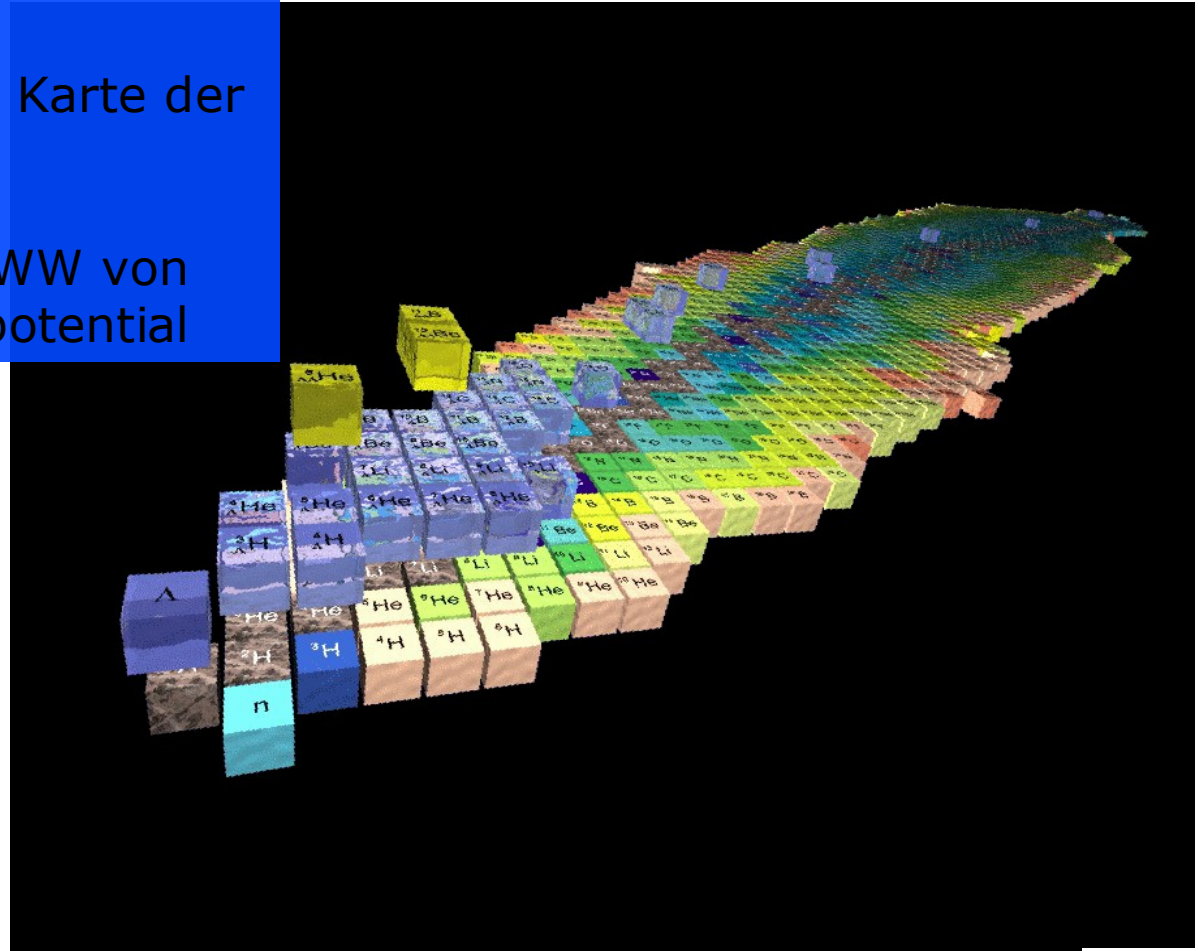
- charmonium: Wasserstoff der QCD
- charm hybride
- $|c\rangle$ -Zustände schmal, verstanden
- mass 4–4.5 GeV
 - $|c c g\rangle$ narrow
 - wenig Interferenz zwischen $|ccg\rangle$ und $|cc\rangle$ -Zuständen

$|\bar{q}qg\rangle$
„hybrid“

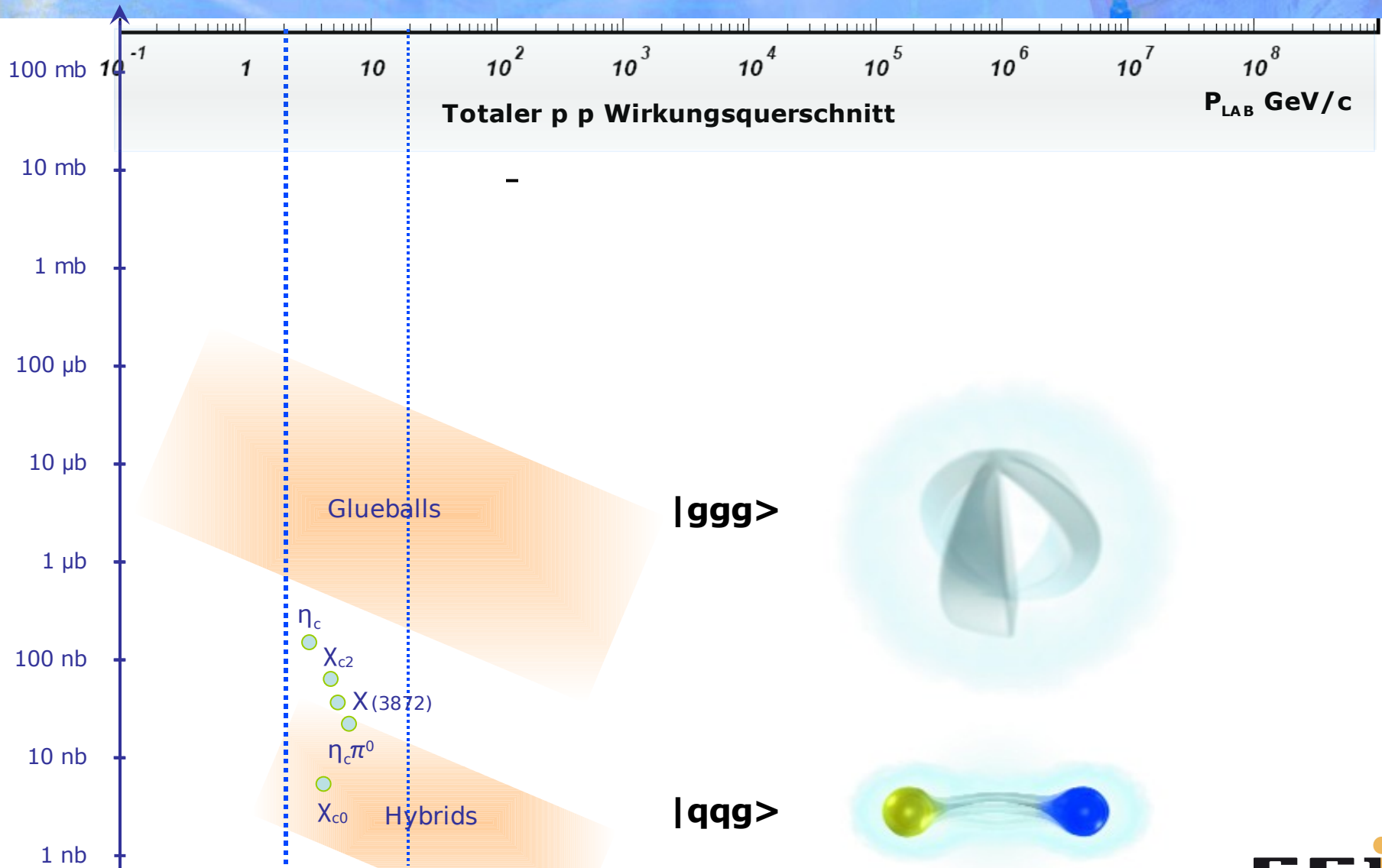


Hyperkerne

- 3. Dimension in der Karte der Elemente
- Untersuchung von WW von Nukleonen im Kernpotential

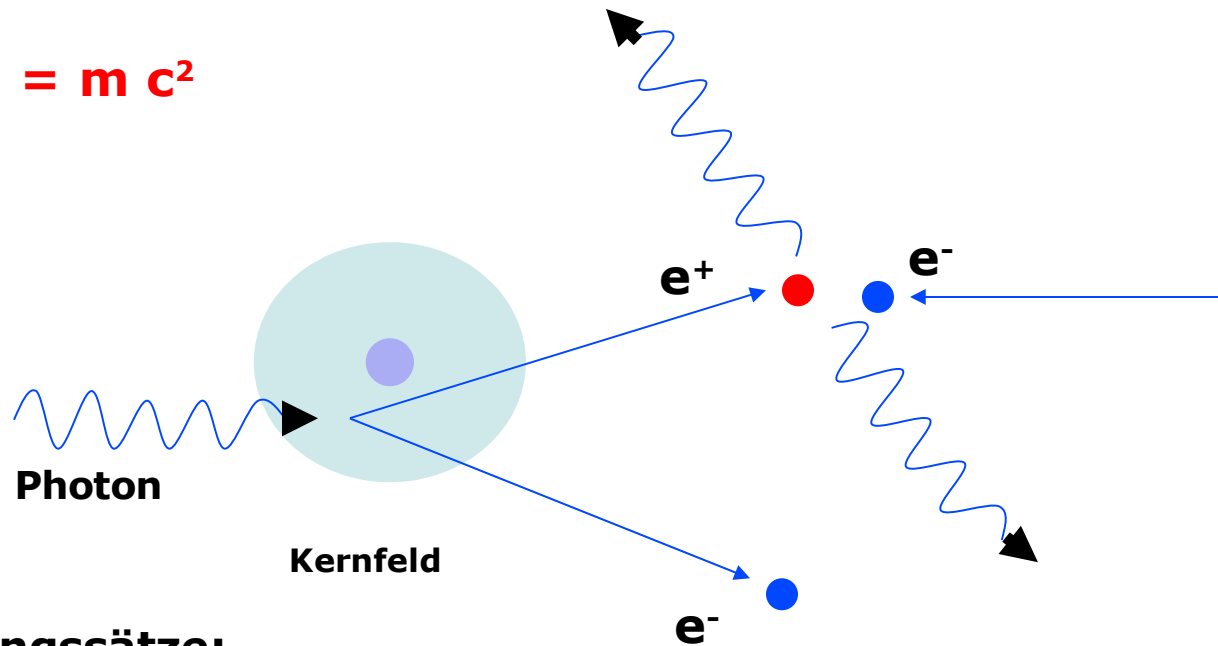


PANDA: Physics Goal



ANTIMATERIE = Materie aus Antiteilchen

$$E = m c^2$$

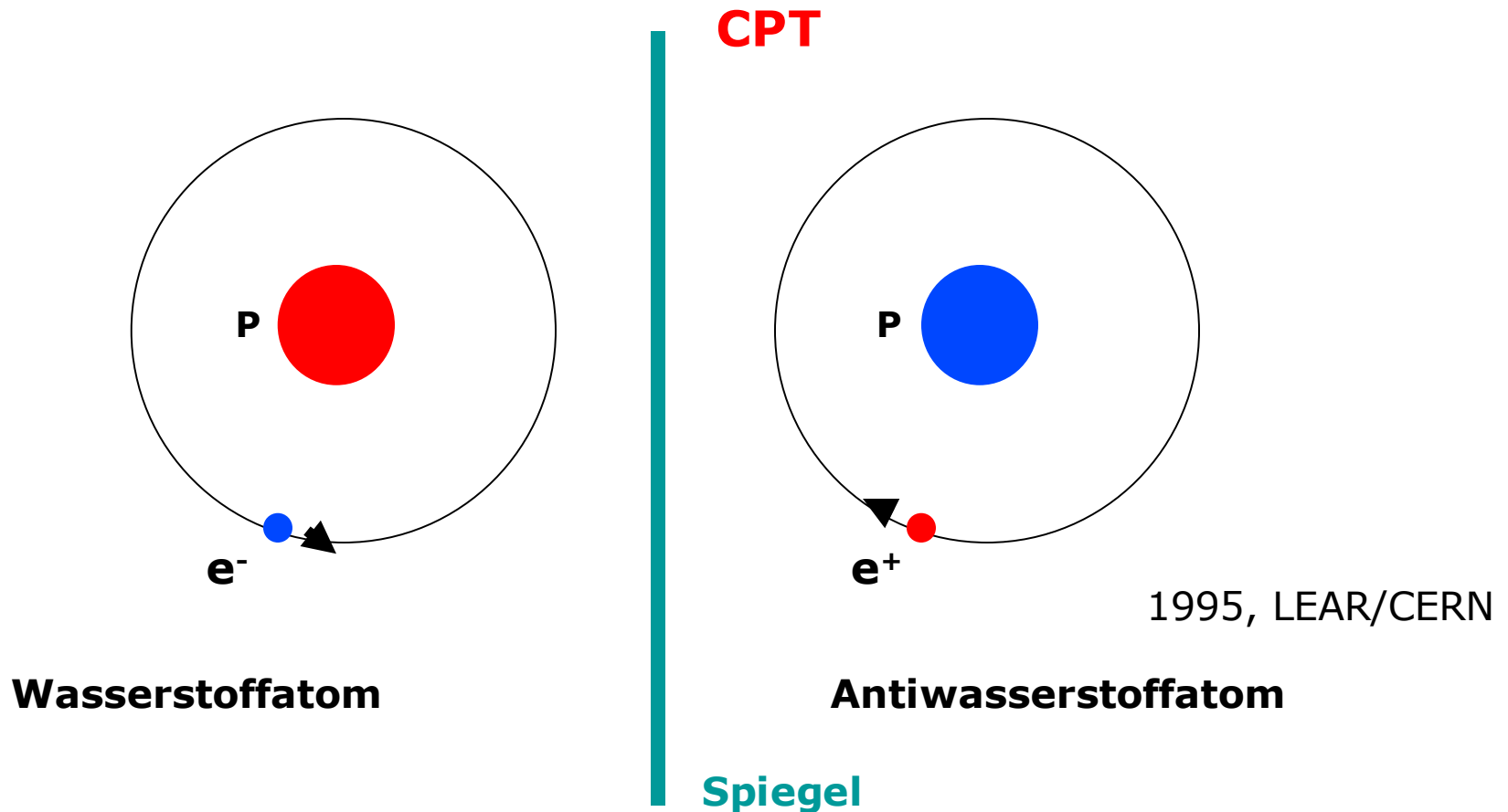


Erhaltungssätze:

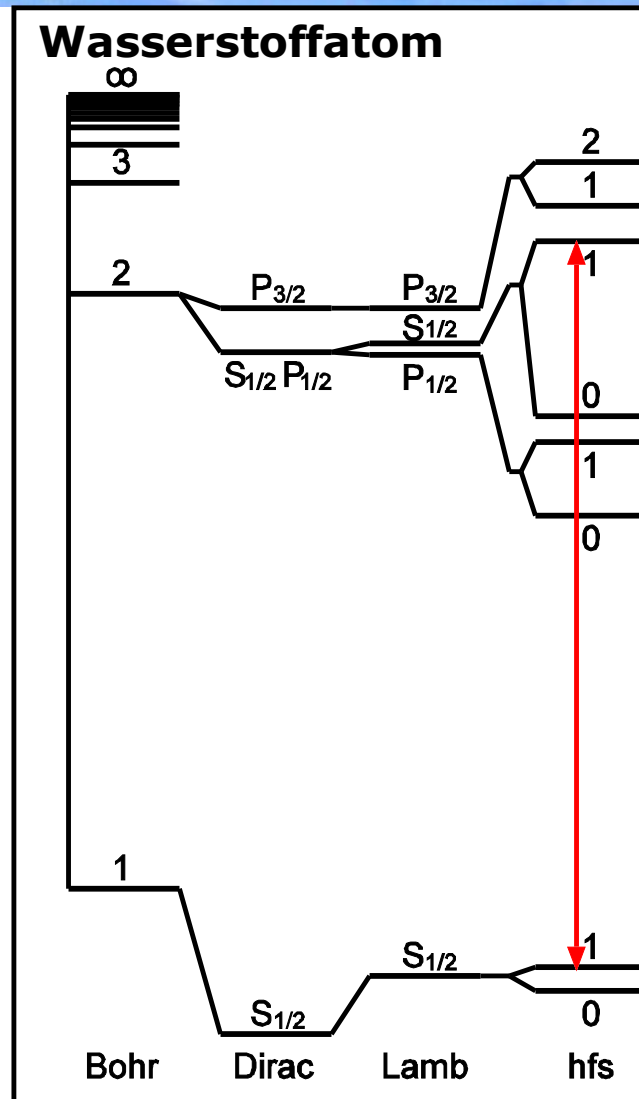
- Energieerhaltung
- Impulserhaltung
- Leptonenzahlerhaltung

FRAGE: WO IST DIE ANTIMATERIE???

ANTIMATERIE = Materie aus Antiteilchen

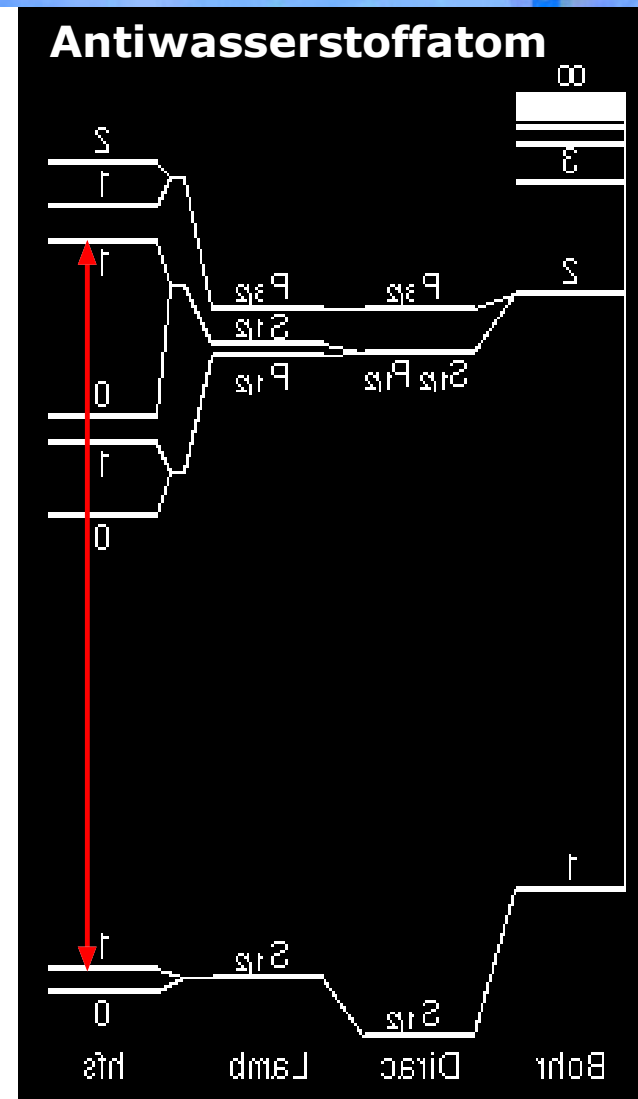


Experimente: FLAIR CPT - Spiegel

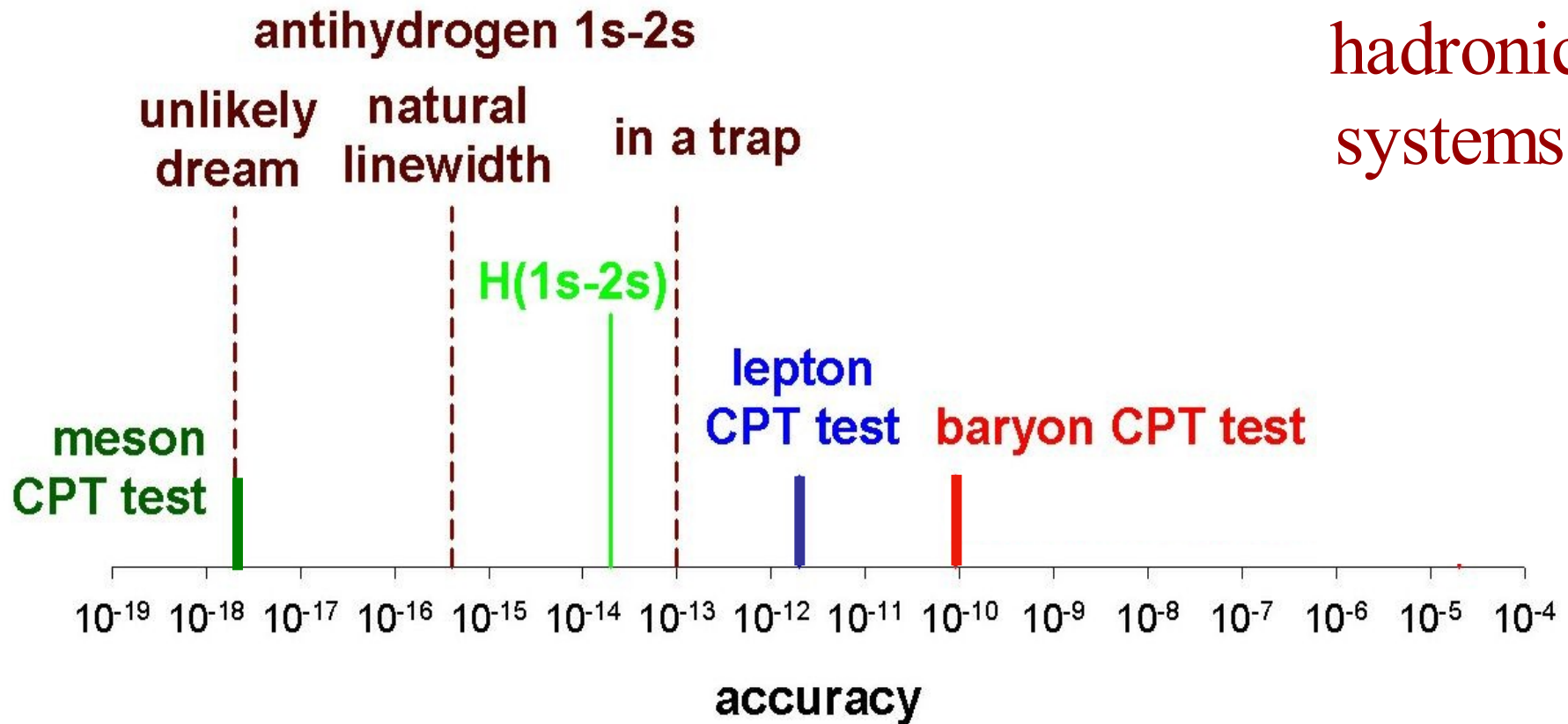


=

?



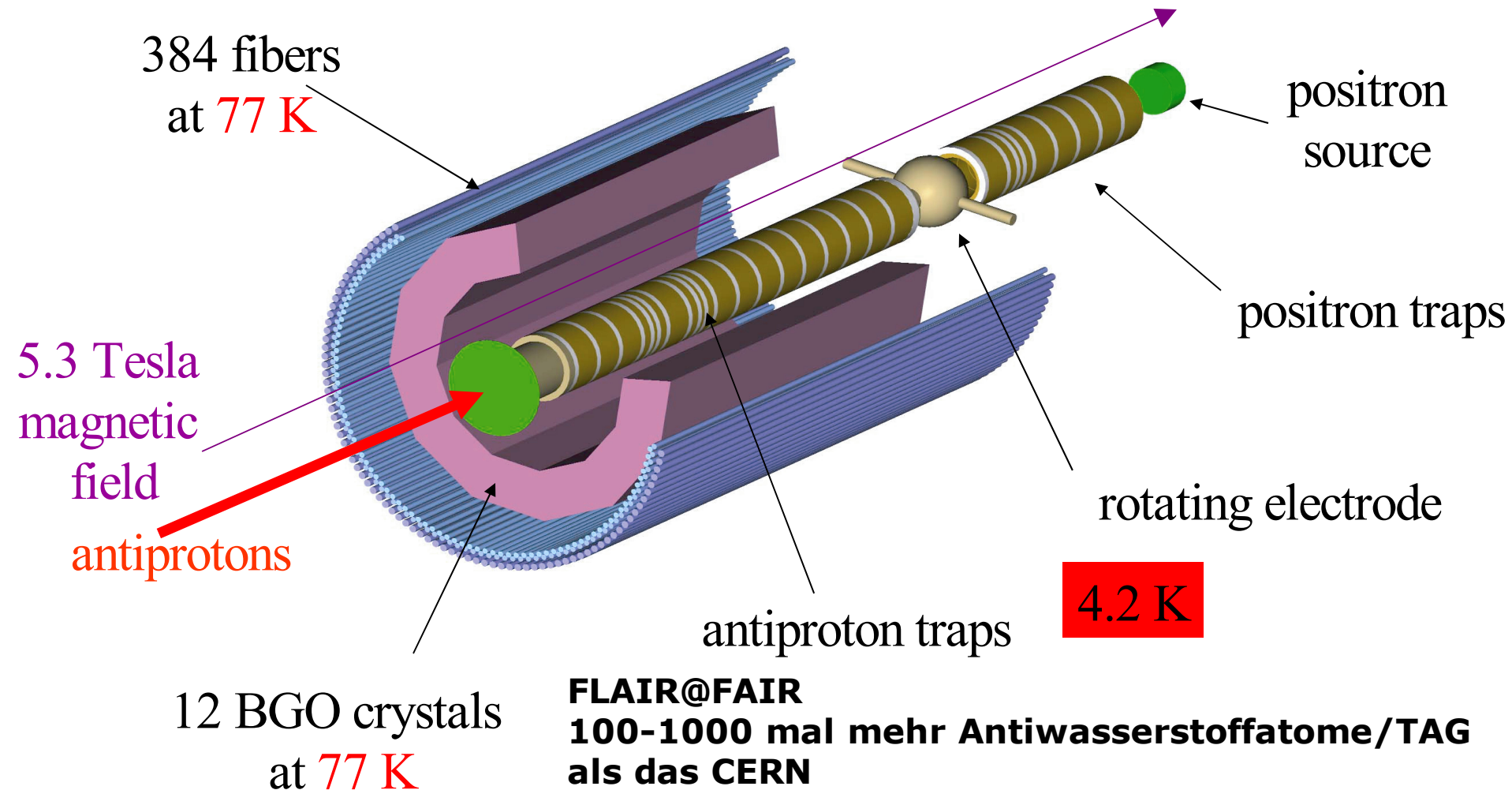
Status of CPT invariance in leptonic and hadronic systems



$$\frac{R_{\gamma}[\bar{H}]}{R_{\gamma}[H]} = \frac{m[e^+]}{m[e^-]} \frac{\alpha_q[e^+]}{\alpha_q[e^-]} \frac{\delta^2}{\delta} \frac{\alpha_q[\bar{p}]}{\alpha_q[p]} \frac{\delta^2}{\delta} \frac{1 + m[e^+]/M[\bar{p}]}{1 + m[e^-]/M[p]}$$

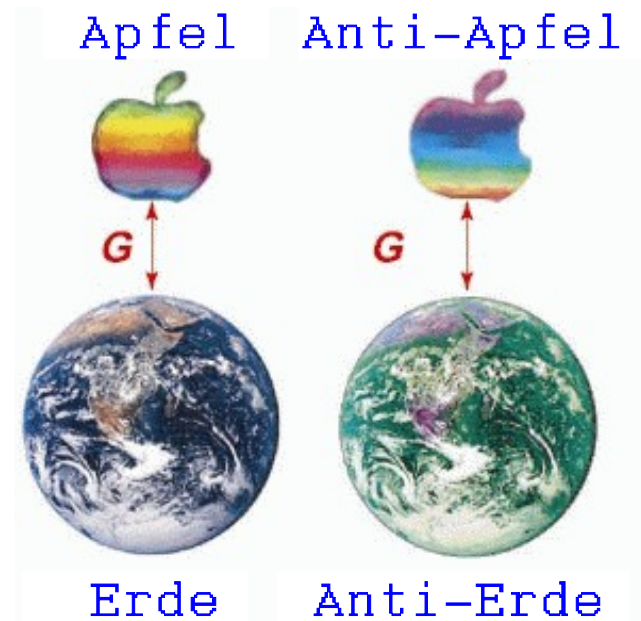
FLAIR:

ATRAP/CERN – Falle und Detektoren



Standard-Modell der Physik:

G – wohl verstanden



Experimente: PHELIX

Materie unter extrem hohen Temperaturen und Drücken

- > Plasma
 - Atome verlieren Atomhülle
 - freie Ilektronen und Nukleonen
 - mehr als 99% der Materie ist Plasma

FAIR, einmalige Technik:

- 1 Kilojoule/1 Petawatt Nd:glass laser system
- Beschuß von Feststoffen mit hochintensiven, zeitl. gepulsten Laser und Ionenstrahlen
 - Bedingungen wie im Jupiter

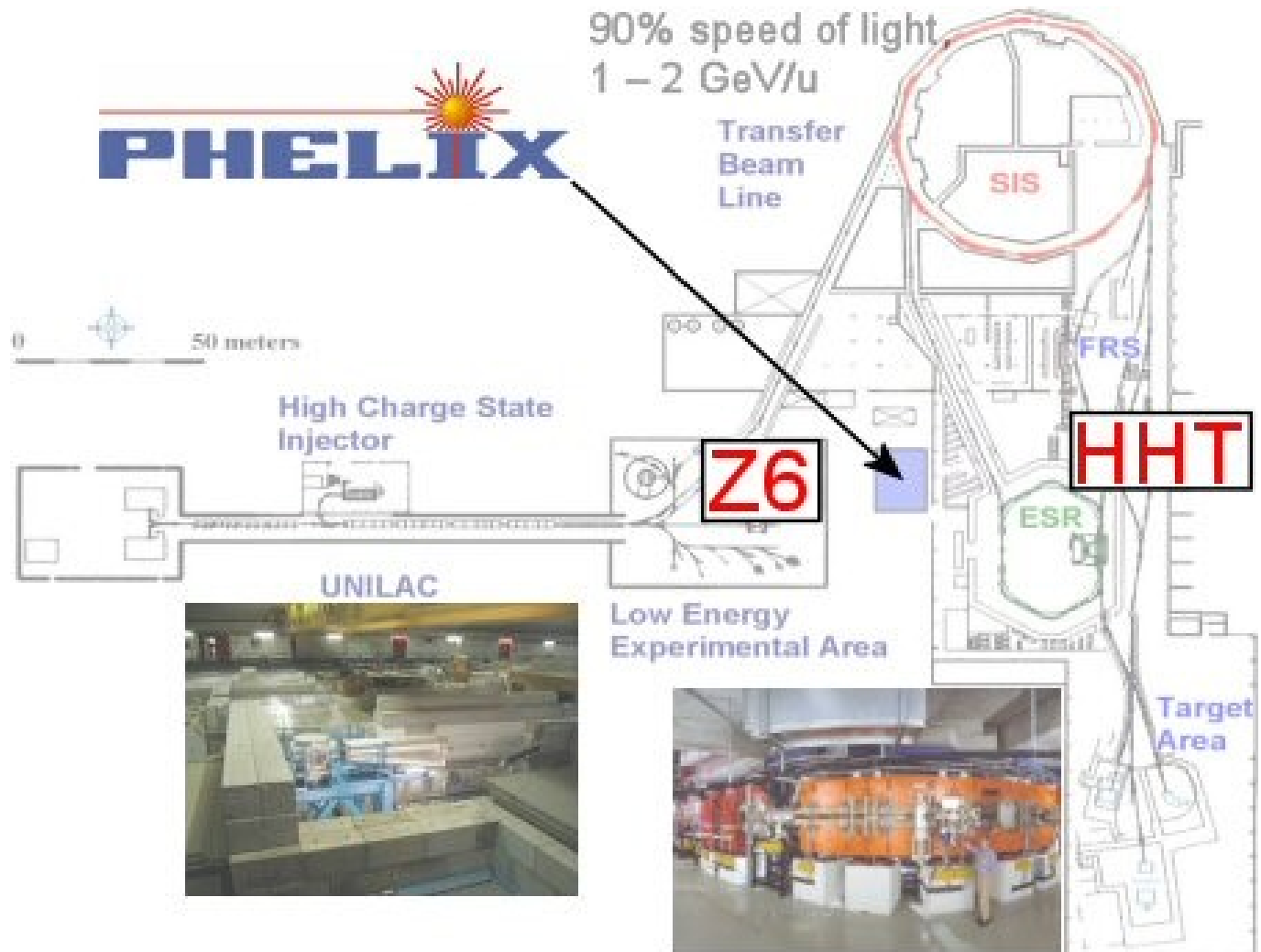
Unterruchung:

- Phasenübergang von molekul. bzw. atom. Wasserstoff in metallischen Wasserstoff
- Trägheitsfusion, mögliche Energie der Zukunft



$$1\text{eV} = 1000000 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Experimente: PHELIX



Experimente: NUSTAR (R3B, EXL, ELISe)

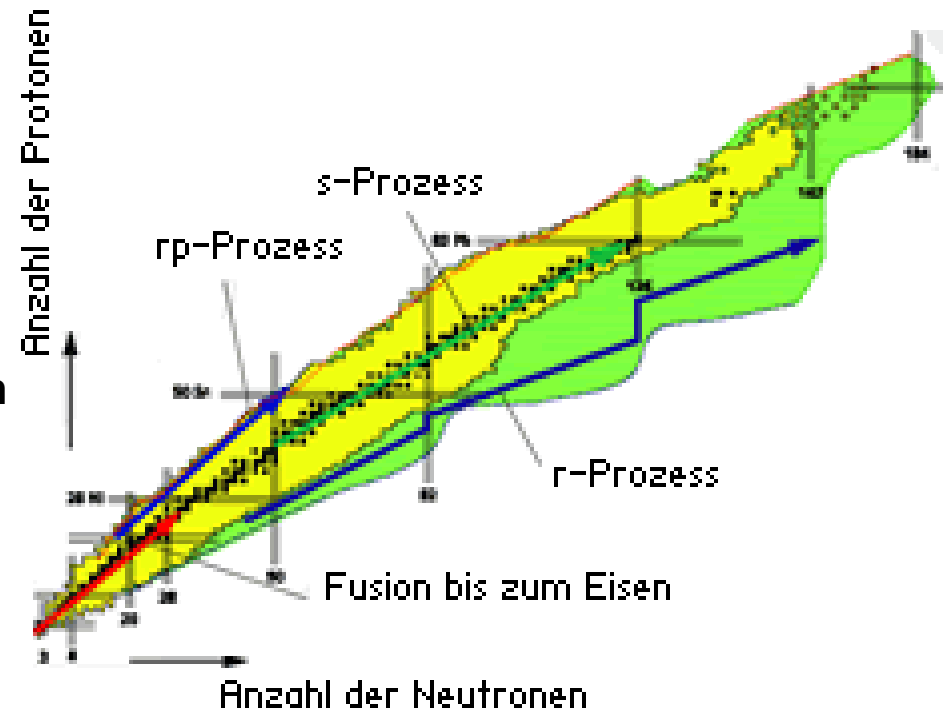
Kern und Astrophysik

Elementsynthese

Warum so viele Elemente?
Wie läuft das ab?

In der Natur:

- **in Sternen Fusion bis zum Eisen**
 - Energie wird freigesetzt
 - > Sternenleuchten
- **in Sternexplosionen**
 - über radioaktive Isotope zu stabilen Kernen



FAIR:

Herstellung von radioaktiven Kernen, die zur Nukleosynthese wichtig sind
-> Ursprung der Elemente, unsere Existenz

Experimente: CBM (**C**ompressed **B**aryonic **M**atter)

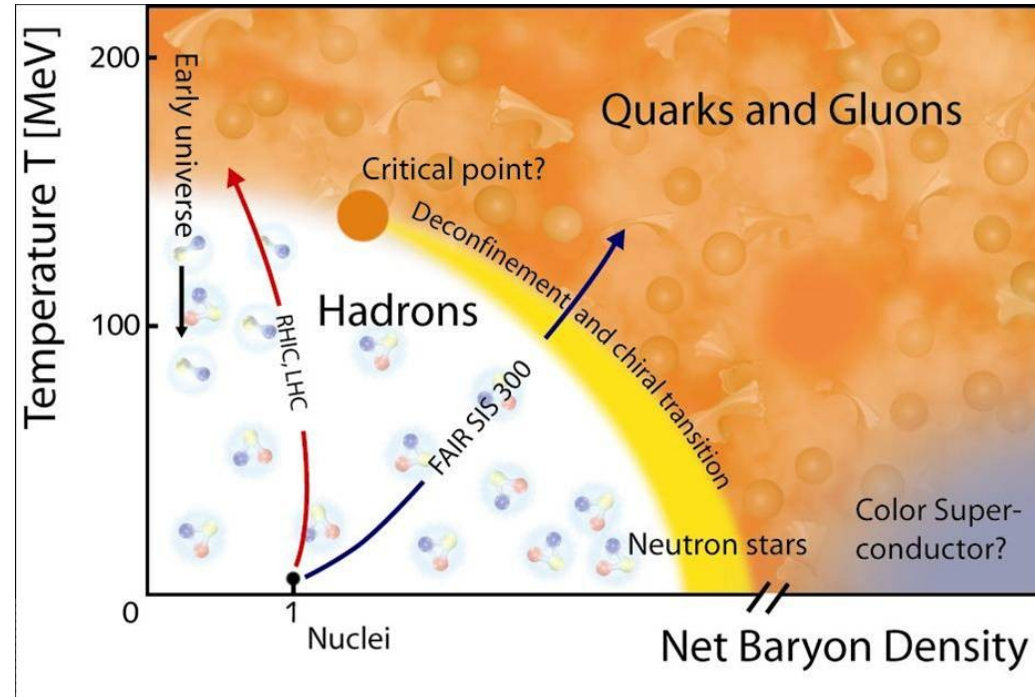
Erzeugung extrem hoher Kerndichten und -temperaturen

- Supernovaexplosionen
- Neutronensterne

Quark-Gluon-Plasma (QGP) = neuer Zustand von Materie

- Verlust der Identität von p und n
- freie Quarks
- 1mS nach Urknall

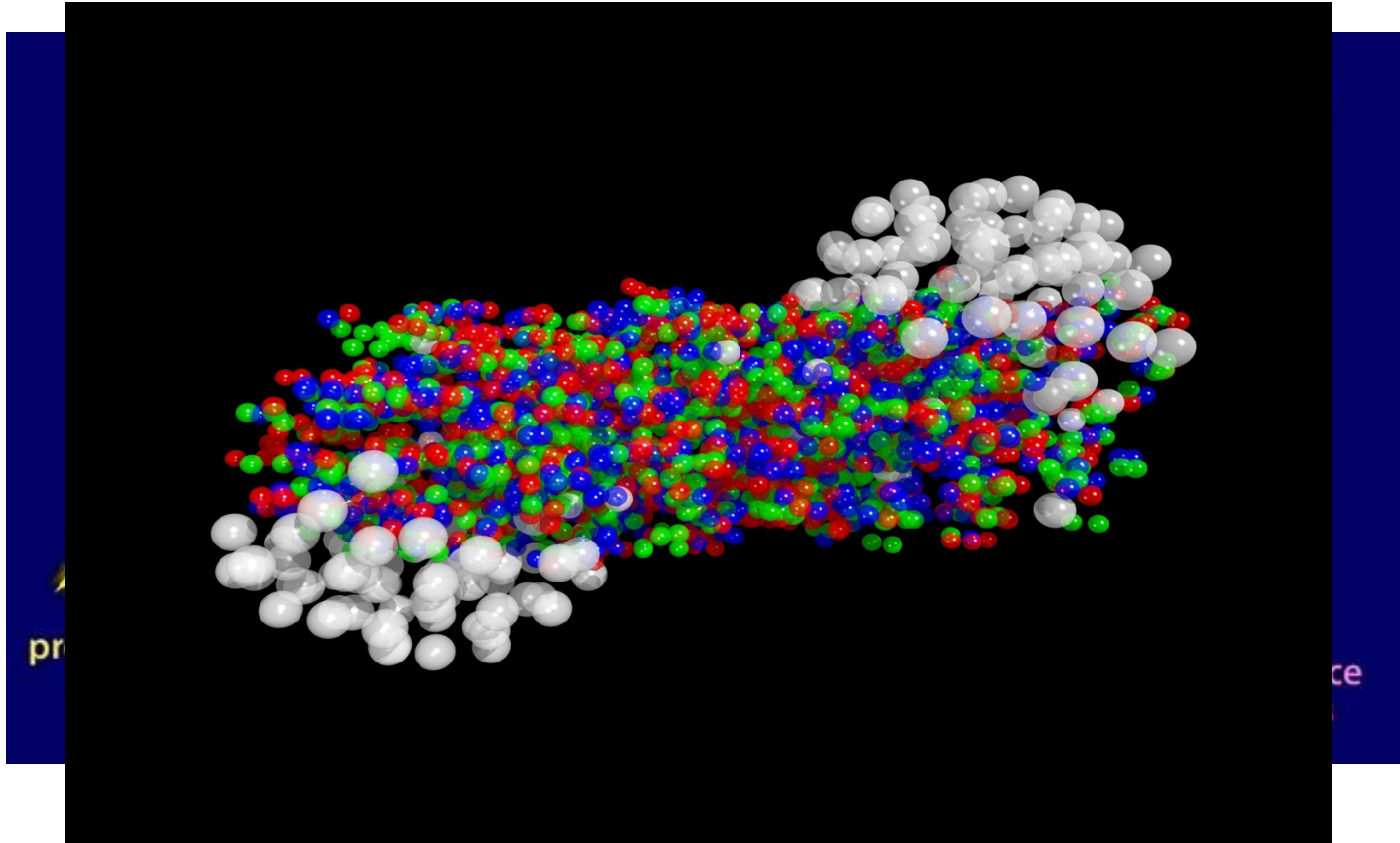
CBM neuer Weg:
einmalige Kerndichten
-> mögliche neue Phase



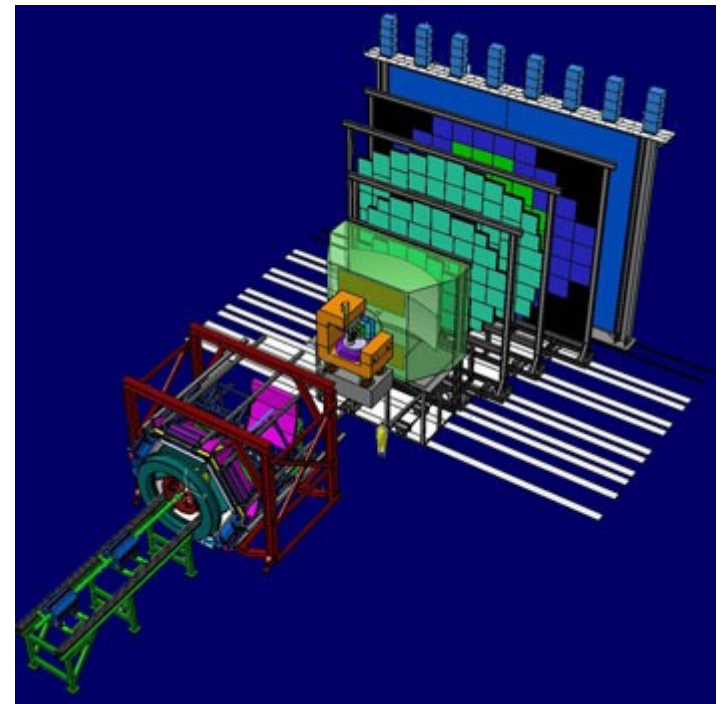
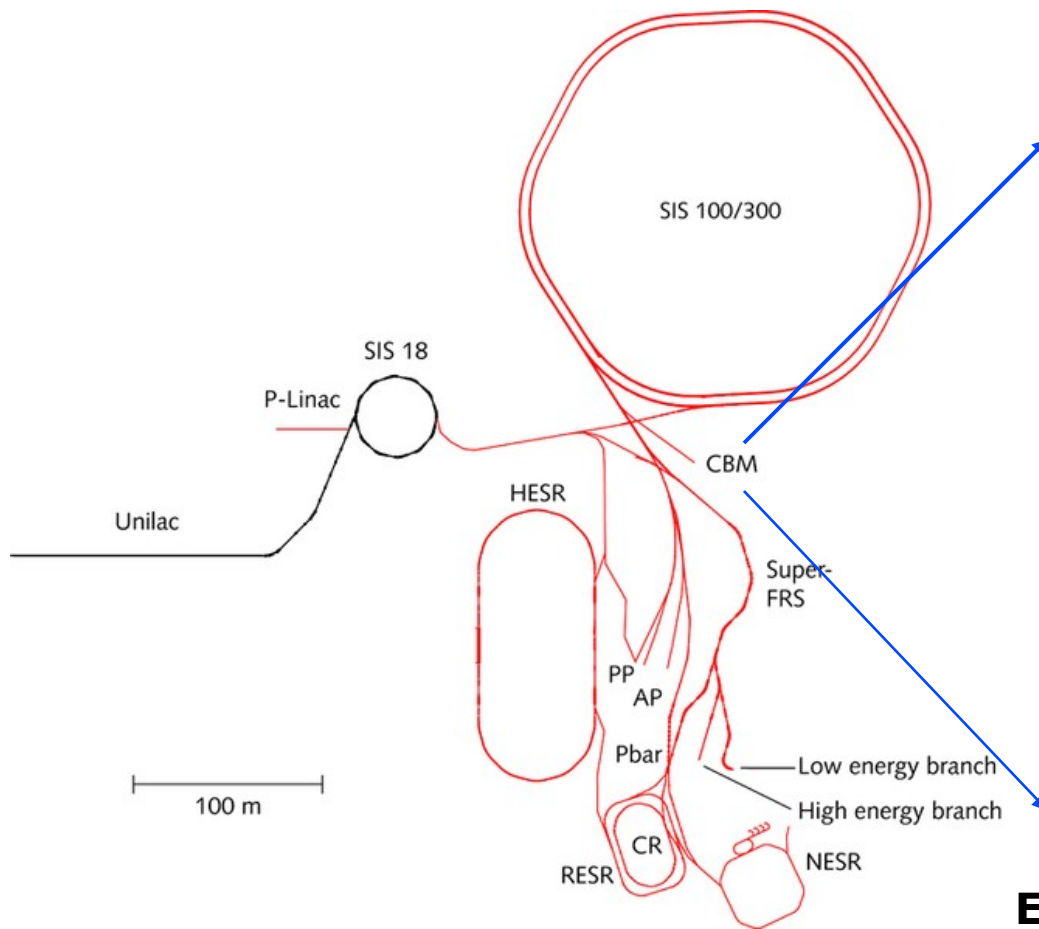
Experimente: CBM

Technik: Schwerionenstöße

Kollision bei 95% der Lichtgeschwindigkeit



Experimente: CBM Detektor



Extrem hohe Datenraten

Experimente: Anwendungen



Sonden und Techniken

- Festkörperphysik
radioaktive Sekundärstrahlen werden mit hoher Energie auf Materialien geschossen, implantiert -> Materialeigenschaften
- Raumfahrt
Risikountersuchungen für Weltraumexpeditionen
Untersuchung von Cosmischer Strahlung auf
 - Mensch
 - Raumschiff
 - Chips an Bord
- Fusionsforschung
Studien: Fusion von Wasserstoff zu Helium

Strahldiagnose:

Ohne Strahldiagnose ist FAIR blind

**Mit Strahldiagnose (und viel Anstrengung)
kann FAIR ein Teleskop in die
Geschichte der Materie und
die Zukunft der Menschheit sein**



Thank you all for comming

FAIR